

## Résumé

La baisse du rendement des cacaoyères, généralement irréversible, commence parfois avant dix ans. En Guyane, lors de la reconversion d'un essai comparatif d'hybrides peu productifs, des éclaircies en lignes ont été faites à 10 ans. Deux campagnes de récolte et le comportement des descendances hybrides étudient : la production (vraie et potentielle), le taux de pourriture et le poids moyen d'une cabosse, le développement végétatif, le rapport production-vigueur et les corrélations entre variables de vigueur et de productivité. Les résultats montrent une augmentation de 35 à 65 % du rendement, provoquée par une multiplication de la productivité par arbre allant jusqu'à 4,24, en moyenne familiale. La production est très fortement corrélée avec la vigueur. Les éclaircies assureraient un réglage de la densité suivant l'âge, cette « densité évolutive » aborderait de façon nouvelle la régénération des cacaoyères.

## Abstract

The generally irreversible drop in cocoa planting yields sometimes begins before the age of ten years. In French Guiana, when reconverting a comparative trial of largely unproductive hybrids, rows were thinned at ten years. The performance of hybrid progenies was studied over two harvesting seasons: yields (actual and potential), rot rate and mean pod weight, vegetative development, yield:vigour ratio and correlations between vigour and productivity variables. The results showed a 35 to 65% increase in yields, as tree productivity was multiplied by up to a family mean of 4.24. Yields were very closely correlated to vigour. Thinning can be used to adjust density in line with age, and this "evolving density" would provide a new approach to cocoa planting regeneration.

## Resumen

La baja del rendimiento de los cacaotales, por lo general irreversible, empieza a veces antes de los diez años. En Guayana francesa, cuando la reconversión de un ensayo comparativo de híbridos poco productivos, se realizaron aclareos en hileras a los 10 años. Dos campañas de cosecha y el comportamiento de las descendencias híbridas estudian: la producción (efectiva y potencial), la tasa de pudrición y el peso medio de una mazorca, el desarrollo vegetativo, la relación producción-vigor y las correlaciones entre variables de vigor y de productividad. Los resultados muestran un aumento del 35 al 65% del rendimiento, provocado por una multiplicación de la productividad por árbol que llega hasta 4,24, como promedio familiar. La producción se halla en correlación fuerte con el vigor. Los aclareos asegurarían una graduación de la densidad acorde a la edad, esta "densidad evolutiva" trataría de un modo nuevo la regeneración de los cacaotales.

# Influence d'éclaircies sur les rendements d'hybrides de cacaoyers

Lachenaud P.<sup>1</sup>, Oliver G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD-CP, 01 BP 6483, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>CIRAD-CP, BP 701, Kourou Cedex, Guyane Française

**E**n cacaoculture, la baisse continue et irréversible de la production, à partir d'un âge variable selon les conditions, est un problème majeur (Wood et Lass, 1985). Cette baisse est généralement attribuée à la sénescence des arbres mais, si cet argument est acceptable dans certains cas, il ne peut être admis dans les nombreux autres où les cacaoyers sont jeunes et manifestement vigoureux.

Dès 1983, nous avons mis en évidence, en Côte d'Ivoire, un fait agronomique primordial : dans une parcelle de production déclinante, la suppression de trois arbres sur quatre provoquait une multiplication par cinq de la productivité finale par arbre (Anon., 1983 ; Lachenaud, 1991). Toutefois, en raison d'un taux élevé de manquants, le rendement de la parcelle n'avait pu être maintenu, mais le principe des éclaircies avait révélé tout son intérêt. Ce résultat a été confirmé en station de recherches (Lachenaud, 1991) et chez les planteurs (Anon., 1989), pour un taux d'éclaircies de 0,50 et a servi de base à des techniques de régénération des vieilles cacaoyères.

L'ensemble de ces faits suggérait qu'une des causes de la faible productivité des parcelles adultes pouvait être une densité trop forte, exacerbant les concurrences entre cacaoyers. L'observation quasi-constante de bordures plus productives que le reste des parcelles semblait le confirmer. Le comportement ainsi mis en évidence était classique, puisqu'il est admis que le rendement de toute plante arbustive atteint un pic puis décroît si un éclaircissage des plantations n'est pas effectué au moment critique (Claude, 1978). Néanmoins, en ca-

caculture, les essais de densités montrent, généralement, que les meilleurs rendements sont associés aux densités les plus fortes (Armstrong, 1976 ; Mooleedhar et Laukner, 1990). Ces résultats s'expliquent simplement par des durées d'étude trop courtes, souvent inférieures à dix ans, et donc de peu d'utilité pour les planteurs. Personne ne contestera que, dans les premières années de la vie d'une cacaoyère, les fortes densités soient plus intéressantes que les faibles (Wood et Lass, 1985) ; mais qu'advient-il par la suite, après une dizaine d'années (Armstrong, 1976) ?

Nous confirmons, en Guyane, les résultats obtenus en Côte d'Ivoire, sur du matériel hybride comparable, mais dans des conditions édapho-climatiques nettement différentes. Un essai comparatif d'hybrides vulgarisés en Côte d'Ivoire, planté à la station Cirad<sup>(1)</sup> de Paracou-Combi, fut suivi pendant dix années. Pour expliquer les rendements globalement faibles, l'hypothèse émise était celle d'une densité trop élevée (Lachenaud *et al.*, 1994). Dans le cadre d'une reconversion progressive de la parcelle, des éclaircies de deux lignes sur quatre furent réalisées et les récoltes individuelles poursuivies pendant deux campagnes sur les arbres restants. L'influence des éclaircies a été étudiée sur : la production, la production potentielle, la vigueur végétative, le rapport production/vigueur, les pertes par pourritures et la taille des cabosses.

## Matériel végétal

Neuf hybrides sélectionnés en Côte d'Ivoire sont comparés à trois témoins locaux (tableau 1). Les clones parents des hybrides sont des Forastero haut-amazoniens de pre-

<sup>(1)</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

Tableau 1. Matériel végétal en essai. / *Planting material tested.*

Familles / <i>Families</i>		Nomenclature ( ♂ x ♀ )
Hybrides / <i>Hybrids</i>	1	UPA 419 x IFC 1
	2	UPA 405 x IFC 412
	3	UPA 710 x IFC 5
	4	UPA 608 x IFC 412
	5	UPA 413 x IFC 1
	6	T 79/416 x E1 (J 92/70)
	7	UPA 603 x UF 667
	8	UPA 402 x UF 676
	9	UPA 409 x IFC 1
Témoins / <i>Controls</i>	10	Amelonado-Angoleta
	11	Amelonado
	12	Trinitario rouge / <i>red Trinitario</i>

mière (T 79/416) ou deuxième génération (UPA), des Forastero bas-amazoniens Amelonado sélectionnés localement (IFC) et des Trinitario originaires du Costa Rica (UF) ou du Ghana (E1). Les témoins sont des descendances libres de deuxième génération de matériel anciennement cultivé au nord (Iracoubo) et au centre (Saül) de la Guyane et récoltées dans la collection de Paracou-Combi (Lachenaud *et al.*, 1994).

## Méthodes

Les 12 familles furent plantées en janvier 1984, à raison de 50 arbres par famille, à la densité de 1 666 arbres à l'hectare, suivant un dispositif en « randomisation » de parcelles mono-arbre (Lotodé et Lachenaud, 1988). L'étude comparative fut menée jusqu'en décembre 1993. A cette date, des éclaircies de deux lignes sur quatre furent pratiquées, pour aboutir à une densité finale de 833 et à des écartements de (3 m +

9 m) x 2 m. Les récoltes individuelles reprirent en novembre 1994 et se terminèrent en décembre 1996, après deux campagnes complètes et une taille importante lors de la seconde. Les observations ont concerné les récoltes (cabosses saines, pourries et poids de cabosses) et la circonférence des troncs à 50 cm du sol.

Les méthodes statistiques utilisées sont celles décrites précédemment (Lachenaud *et al.*, 1994) : analyse de variance avec utilisation du test de Hartley pour vérifier l'homogénéité des variances intrafamiliales (celles-ci ayant des effectifs inégaux) et transformations de variables (racine carrée, logarithme ou arcsinus  $\sqrt{x}$ ) pour normaliser les données. Les coefficients de variation étant souvent élevés, une analyse de covariance (de Papadakis), avec comme covariable la moyenne des écarts des huit plus proches voisins à leur moyenne familiale, est systématiquement effectuée (Lotodé et Lachenaud, 1988) : si une liaison variable-

covariable significative est révélée, un ajustement des moyennes est réalisé. Les moyennes familiales sont comparées par le test de Newman et Keuls, au seuil de 5 %.

## Résultats bruts et comparés

### La production

L'analyse des productions familiales de la première campagne suivant les éclaircies (1995) et du cumul potentiel (intégrant les cabosses pourries) pour 1995-1996 (tableau 2) révèle un effet famille très hautement significatif dans les deux cas, avec des productions variant de 310 à 3 286 kg de cacao marchand par ha en 1995, et un potentiel moyen annuel (calculé sur deux ans) variant de 233 à 2 972 kg.

La comparaison avec les résultats obtenus avant les éclaircies (tableau 3) montre que la production parcellaire vraie, après éclaircies, est globalement multipliée par 1,35, si l'on prend en compte l'année 1995 et la dernière année de production à densité classique (année 1993). Si l'on compare les productions potentielles moyennes des deux campagnes après éclaircies, à celles des sept les précédant, le coefficient multiplicateur est de 1,65. Dans ces deux cas, la productivité moyenne par arbre est donc multipliée par 2,7 et 3,3.

Le classement des familles est peu modifié, mais l'ampleur des réactions aux éclaircies est variable : le coefficient multiplicateur familial du rendement potentiel passe de 0,56 (famille 9) à 2,12 (famille 4 ; c'est-à-dire une productivité par arbre multipliée par

Tableau 2. Paramètres de la production 1995-1996. / *1995-1996 yield parameters.*

Familles / <i>Families</i>	Production 1995 / <i>1995 yield</i>	Potentiel (1995- 1996) / <i>Potential (1995-1996)</i>	Poids moyen de cabosse (kg) / <i>Mean pod weight (kg)</i>	% de cabosses pourries / <i>% of rotten pods</i>
1	23,7 (1 728) bc	1 475 bc	0,36 bc	0,08 a
2	38,3 (2 792) ab	2 481 ab	0,42 ab	0,06 a
3	9,2 (670) cd	470 cd	0,34 bc	0,06 (*)
4	22,9 (1 673) c	1 462 c	0,39 (*)	0,06 a
5	12,4 (907) cd	776 cd	0,37 (*)	0,12 (*)
6	7,0 (509) cd	377 (*)	0,32 bc	0,03 ab
7	18,2 (1 324) cd	1 113 cd	0,33 bc	0,06 a
8	45,1 (3 286) a	2 972 a	0,42 ab	0,08 a
9	4,3 (310) d	233 (*)	0,34 (*)	0,07 (*)
10	19,9 (1 448) bc	1 005 cd	0,32 c	0,03 ab
11	6,1 (443) d	348 d	0,32 (*)	0,02 b
12	12,5 (911) cd	764 cd	0,46 a	0,04 ab
Moyenne / <i>Mean</i>	19,0 (1 386)	1 176	0,37	0,06

Classes d'homogénéité à 5 % ; production exprimée en kg de cabosses par arbre et en kg de cacao marchand  $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$  (valeurs entre parenthèses) ; le potentiel est en kg de cacao marchand  $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ . (\*) = familles retirées des analyses. / Homogeneity groups at 5% ; yield expressed in kg of pods per tree and in kg of dry cocoa  $\text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$  (figures in brackets) ; the potential is in kg of dry cocoa  $\text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ . (\*) = families excluded from analyses.

Tableau 3. Résultats de l'essai comparatif d'hybrides (1984-1993) (Lachenaud *et al.*, 1994). / Results of the hybrid comparative trial (1984-1993) (Lachenaud *et al.*, 1994).

Famille Family	Potentiel moyen (7 ans) Mean potential (7 years)	Récolte 1993 (année 10) 1993 crop (year 10)	Poids moyen de cabosse (kg) Mean pod weight (kg)	% de cabosses pourries % rotten pods	Vigueur adulte (cm) Adult vigour (cm)
1	1 256 a	1 784	0,43 a	7,3 a	41,6 b
2	1 310 a	1 773	0,49 a	4,2 b	49,9 a
3	310 c	293	0,37 (*)	5,5 ab	29,1 d
4	691 b	981	0,37 b	4,4 b	36,2 bc
5	764 b	1 057	0,49 a	4,7 b	35,2 c
6	189 (*)	214	0,34 (*)	7,8 ab	28,5 (*)
7	637 b	988	0,36 b	5,0 b	37,4 bc
8	1 687 a	2 822	0,46 a	4,7 b	48,6 a
9	416 bc	379	0,44 (*)	6,0 a	31,9 cd
10	550 b	1 262	0,35 (*)	1,4 d	38,3 (*)
11	212 (*)	232	0,48 (*)	1,1 (*)	28,8 (*)
12	404 bc	503	0,47 a	2,5 c	35,5 c
Moyenne / Mean	712	1 024	0,42	4,7	36,9

Classes d'homogénéité au seuil de 5 %. Les récoltes sont exprimées en kg de cacao marchand ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>, et la vigueur adulte correspond à la circonférence du tronc à 50 cm du sol à 10 ans (\* = familles retirées des analyses). / Homogeneity groups at 5%; yield expressed in kg of dry cocoa ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and adult vigour corresponding to trunk girth 50 cm from the ground at ten years.

Tableau 4. Vigueur et production. / Vigour and yields.

Famille Family	Circonférence (cm) Girth (cm)	Potentiel/section Potential:cross-section
1	44,08 bcd	0,23 b
2	61,01 a	0,21 b
3	32,83 cd	0,09 bc
4	45,36 bcd	0,18 bc
5	35,33 cd	0,14 bc
6	36,29 (*)	0,08 bc
7	41,85 cd	0,15 bc
8	54,98 ab	0,35 a
9	29,05 (*)	0,07 c
10	46,22 bc	0,14 bc
11	31,22 d	0,08 c
12	39,32 cd	0,15 bc
Moyenne / Mean	42,05	0,16

Circonférence à 50 cm du sol à 12 ans et demi ; rapport production potentielle / section, en kg de cabosses cm<sup>2</sup> an<sup>-1</sup> ; classes d'homogénéité à 5 %. / Girth 50 cm from the ground at 12½ years; potential yield:cross section ratio, in kg of pods cm<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>; homogeneity groups at 5%.

4,24 !), avec une majorité de familles entre 1,5 et 2 (familles 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12). Cette variabilité du comportement semble difficilement pouvoir être liée à la productivité antérieure : en effet, les coefficients multiplicateurs parcellaires des familles du groupe de tête pour la productivité antérieure (familles 1, 2 et 8) sont de 1,17, 1,89 et 1,76, tandis que pour celles du dernier groupe (familles 3, 6, 9, 11 et 12), ils sont de 1,52, 1,99, 0,56, 1,64 et 1,89.

#### Le poids moyen de cabosse

Pour l'ensemble des deux campagnes, l'effet famille est très hautement significatif, avec des moyennes familiales variant de 0,32 à 0,46 kg (tableau 2).

Le poids moyen de cabosse diminue globalement de 50 g après éclaircies, avec des valeurs extrêmes allant de - 160 g (famille 11) à + 20 g (famille 4). Il semblerait donc que l'augmentation globale de la productivité par arbre s'accompagne d'une diminution de la taille des cabosses. Toutefois, le cas de la famille 4 montre que la productivité par arbre peut être multipliée par 4,24 et s'accompagner d'une augmentation de la taille des cabosses. Pour ce critère, les classements avant et après éclaircies restent cohérents.

#### Les pertes par pourriture

Pour l'ensemble des deux campagnes, l'effet famille est significatif (probabilité =

3,3 %), avec des taux de cabosses pourries variant de 0,02 à 0,12 (tableau 2).

Les taux de cabosses pourries, en moyenne de 6 %, augmentent globalement d'environ 1 % après éclaircie. Les témoins guyanais confirment leur bon comportement. L'absence de témoin à la densité initiale ne nous permet pas de savoir si l'augmentation constatée est due au dispositif ou aux circonstances climatiques, ni si, comme cela a été montré en Côte d'Ivoire, les dispositifs en haies ne réduisent pas les pertes par pourriture (Lachenaud, 1987).

#### La vigueur végétative

Les moyennes familiales des circonférences (en cm) du tronc à 50 cm du sol à 12 ans et demi figurent dans le tableau 4. L'effet famille est très hautement significatif. La comparaison avec les résultats antérieurs aux éclaircies (tableau 3), donne des résultats cohérents avec ceux de la production (le comportement des familles 1, 2, 8 et 9 est éloquent à cet égard), comme pouvait le laisser prévoir la valeur très élevée du coefficient de corrélation familiale entre production potentielle et vigueur (tableau 5). Les familles qui tirent avantage des éclaircies quant à leur développement végétatif, par diminution de l'impact des concurrence, produisent d'autant mieux.

#### Le rapport production-vigueur

Cette variable, primordiale en sélection, est définie ici par le rapport entre la production potentielle cumulée des deux campagnes (en kg de cabosses) et la section (en cm<sup>2</sup>) à 50 cm du sol à 12 ans et demi.

Tableau 5. Corrélation vigueur et production. / *Correlation between vigour and yield.*

	Production potentielle <i>Potential yield</i>	Vigueur à 12 ans et demi <i>Vigour at 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> years</i>
Vigueur à 12 ans et demi <i>Vigour at 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> years</i>	0,823 ** (0,933 **)	
Rapport potent./section <i>Potential:cross-section ratio</i>	0,856 ** (0,939 **)	0,607 ** (0,806 **)
Coefficients de corrélation entre variables de vigueur et de production, sur données individuelles et moyennes familiales (entre parenthèses). / <i>Coefficients of correlation between vigour and yield variables, on individual data and family means (in brackets).</i>		
** = hautement significatif / <i>highly significant.</i>		

L'analyse de variance révèle un effet famille très hautement significatif, avec des valeurs variant du simple au quintuple (de 0,07 à 0,35, tableau 4).

### Les corrélations entre variables de production et de vigueur

La matrice des corrélations totales entre les variables de production et de vigueur définies précédemment, établie à partir des valeurs individuelles et familiales, figure dans le tableau 5. Toutes les valeurs des coefficients de corrélation sont hautement significatives et particulièrement élevées, elles confirment (et accentuent) les résultats antérieurs. L'amplitude des valeurs familiales du rapport production/vigueur est plus grande après éclaircies (rapport valeur maximum / valeur minimum de 5 contre 3,75), bien que les coefficients de variation soient voisins (89 % avant et 85 % après). Les éclaircies semblent donc permettre une meilleure expression du rapport production/vigueur.

### Discussion

Les résultats concernant la productivité confirment ceux obtenus en Côte d'Ivoire à Divo, à la suite d'éclaircies d'une ligne sur deux ou de deux lignes sur quatre, sur des familles hybrides diverses. Sur du matériel vulgarisé planté à une densité initiale de 2 500 arbres à l'hectare, des éclaircies de deux lignes sur quatre ont provoqué une augmentation de rendement par rapport au témoin de 36 % (parcelle A 4/3, Lachenaud, 1991). Sur du matériel expérimental, les deux types d'éclaircies ont abouti pour l'hybride UPA 409 x IFC 371, à un rendement parcellaire égal à 93 % de celui du témoin, et pour IFC 705 x IFC 5 à 97 % de celui du témoin (pendant trois campagnes) (Lachenaud, 1991).

En milieu paysan, dans le cadre d'essais de régénération de vieilles cacaoyères par une méthode d'éclaircies en bandes, une augmentation de la production des vieux cacaoyers (âgés souvent de plus de 30 ans) est très généralement observée, parfois dès

la première campagne après les éclaircies (Anon., 1989). Toutefois, dans ces circonstances, l'augmentation n'a pu être entièrement imputable aux éclaircies seules, car les nettoyages et traitements insecticides étaient mieux réalisés.

La pratique des éclaircies permet donc d'augmenter la production d'une parcelle plantée d'un mélange de familles d'hybrides. La réaction des cacaoyers aux éclaircies est très rapide et, dès la première récolte succédant aux éclaircies (non enregistrée), l'augmentation de productivité était nettement visible. Bien que la productivité par arbre semble toujours pouvoir être augmentée à la suite d'éclaircies, l'intérêt agronomique et économique de cette opération dépendra donc des familles d'hybrides utilisées.

### Conclusions

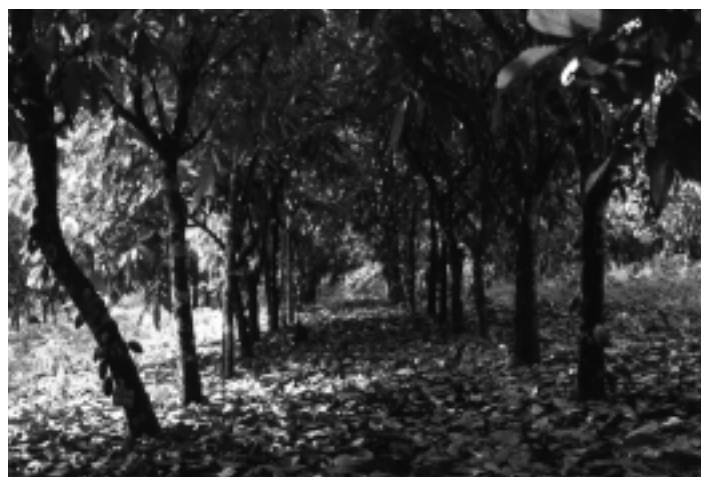
Dans les conditions de Guyane, l'abattage de deux lignes sur quatre dans une cacaoyère peu productive, âgée de 10 ans, a augmenté nettement les rendements vrais et potentiels. Cela montre que les résultats globalement décevants des hybrides de Côte d'Ivoire, obtenus en Guyane, peuvent être attribués, en grande partie, à une densité inadaptée (Lachenaud *et al.*, 1994).

Le comportement des familles d'hybrides après éclaircies est variable : le rendement potentiel représente de 0,56 à 2,12 fois l'antérieur. L'intérêt agronomique des éclaircies dépendra donc du matériel végétal utilisé, confirmant ainsi les résultats de Moleedhar et Laukner (1990). Nos résultats montrent que l'amplitude des valeurs familiales du rapport production/vigueur augmente ; la réduction de densité consécutive aux éclaircies pourrait donc permettre une meilleure expression de ce critère important en sélection.

Pour des raisons pratiques de reconversion progressive de la parcelle, le type d'éclaircies utilisé dans l'étude n'est pas celui qui aboutit à une meilleure répartition des arbres et à une exploitation optimale de l'espace. On peut penser que des éclaircies d'un arbre sur deux en quinconce pourraient donner des résultats encore plus probants. En Côte d'Ivoire, des éclaircies de même nature, au même taux de 0,50 ont donné des résultats similaires, et un essai à un taux de 0,75 en éclaircies équilibrées (une ligne sur deux et un arbre sur deux) a montré que la productivité des arbres était dans ce cas multipliée par cinq.

L'ensemble de ces faits permet de tirer plusieurs conclusions :

- si agronomiquement la pratique des éclaircies aboutit généralement à des augmentations de rendements, il convient d'en étudier les modalités les plus favorables (familles, âges de réalisation, nature et taux des éclaircies) et leur rentabilité économique en fonction des options du planteur (donc généralement sur le long terme), par des essais de densité évolutive. Ce concept de densité évolutive avec l'âge des arbres, avec la pratique des éclaircies comme technique, permettrait d'aborder de façon nouvelle le problème



Après les éclaircies :  
une double ligne.  
*After thinning: a  
double row.*

P. Lachenaud



général de la régénération des cacaoyères, qui, selon nous, se pose de façon si cruciale à cause de mauvaises pratiques agricoles. En effet, les densités adoptées en cacaoculture, même si elles se justifient les premières années, sont sans rapport avec le développement possible du cacaoyer, qui, contrairement à ce qui est écrit trop souvent, est loin d'être un petit arbre, puisqu'il atteint assez fréquemment une hauteur de 20 m à l'état sauvage (Carletto, 1973, Lachenaud et Sallée, 1993 ; Lachenaud *et al.*, 1997) ou même en très vieilles plantations (Dash, 1929). Avec l'âge, le premier symptôme de l'inadaptation de la densité est la baisse de

la production, souvent inexplicablement précoce. Puis, avec l'exaspération des concurrences, l'hétérogénéité de développement des arbres s'accroît, la mortalité augmente, et la cacaoyère devient une forêt de cacaoyers improductive. Adapter les densités en fonction du vieillissement de la parcelle permettrait de prolonger notablement sa durée de vie et de maintenir son potentiel productif ;

- l'écartement des cacaoyers provoque une multiplication considérable de leur productivité (jusqu'à un facteur moyen familial de 4,24 dans cette étude) et confirme bien que la pollinisation ne pose pas de problèmes en cacaoculture et ne consti-

tue pas un facteur limitant. Si tel était le cas, qu'il s'agisse de pollinisation globale ou seulement croisée, les rendements devraient décroître après les éclaircies ;

- la technique des éclaircies permet de reconvertir une cacaoyère, sauf si elle est trop dégradée, sans baisse notable de revenus, en adaptant le taux d'éclaircie aux possibilités de financement du planteur ;
- la densité de plantation est un facteur de production primordial ayant été insuffisamment considéré en amélioration génétique du cacaoyer, ce qui confirme les conclusions de Lockwood et Pang (1996). ■

### Bibliographie / References

- ANON., 1983. Etude de la pollinisation. *In* : Biologie florale du cacaoyer, rapport annuel, IRCC Côte d'Ivoire, tome III, p. 37-39.
- ANON., 1989. Régénération cacaoyère par replantation en bandes. *In* : Rapport d'activité 1989, service recherche-développement, IRCC Côte d'Ivoire, annexes, p. 38-39 (document interne).
- ARMSTRONG K. B., 1976. A spacing trial with single and multiple-stem cocoa. *In* : Seminar on cocoa and coconuts, Tawau, Malaisie, 1976. Sandakan, Malaisie, East Malaysia Planters Association, p. 93-104.
- CARLETTO G.A., 1973. Expedição internacional à Amazônia Equatoriana para colecta de material botânico de cacau. *Revista Theobroma* 3 (3) : 41-47.
- CLAUDE B., 1978. Culture intensive. Plantes arbustives méditerranéennes et tropicales. *Café Cacao Thé* 22 (2) : 161-165.
- DASH J.S., 1929. Historical cacao in British Guiana. *Agric. J. Br. Guiana* 2 : 76-79.
- LACHENAUD P., 1987. La plantation en haies fruitières : une technique permettant l'association avec les cultures vivrières et leur stabilisation. *In* : 10ème Conférence internationale sur la recherche cacaoyère, Saint-Domingue, 17-23 mai 1987. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers' Alliance, p. 45-50.
- LACHENAUD P., 1991. Facteurs de la fructification chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Influence sur le nombre de graines par fruit. Thèse de doctorat, institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 188 p.
- LACHENAUD P., SALLÉE B., 1993. Les cacaoyers spontanés de Guyane. Localisation, écologie et morphologie. *Café Cacao Thé* 37 (2) : 101-114.
- LACHENAUD P., CLÉMENT D., SALLÉE B., BASTIDE P., 1994. Le comportement en Guyane de cacaoyers sélectionnés en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 38 (2) : 91-102.
- LACHENAUD P., MOOLEEDHAR V., COUTURIER C. 1997. Les cacaoyers spontanés de Guyane. Nouvelles propositions. *Plant. Rech. Dév.* 4 (1) : 25-32.
- LOCKWOOD G., PANG. J.T.Y. 1996. Yields of cocoa clones in response to planting density in Malaysia. *Exp. Agric.* 32 : 41-47.
- LOTODÉ R., LACHENAUD P. 1988. Méthodologie destinée aux essais de sélection du cacaoyer. *Café Cacao Thé* 32 (4) : 275-292.
- MOOLEEDHAR V., LAUCKNER F.B., 1990. Effect of spacing on yield in improved clones of *Theobroma cacao* L. *Trop. Agric.* 67 (4) : 376-378.
- WOOD G.A.R., LASS R.A., 1985. Cocoa, fourth edition. Londres, Grande-Bretagne, Longman, Tropical Agriculture Series, 620 p.

# Effect of thinning on cocoa hybrid yields

Lachenaud P.<sup>1</sup>, Oliver G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CIRAD-CP, 01 BP 6483, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> CIRAD-CP, BP 701, Kourou Cedex, Guyane Française

**T**he continuous, irreversible drop in yields starting from an age that varies depending on growing conditions is a major problem for cocoa growing (Wood and Lass, 1985). The drop is generally attributed to tree senescence, but although this argument is correct in some cases, it does not apply to many others in which the cocoa trees are young and clearly vigorous.

As early as 1983, we discovered an agronomic fact of prime importance in Côte d'Ivoire: in a plot with declining yields, removing three in four trees increased the final yield per tree fivefold (Anon., 1983; Lachenaud, 1991), but given the large number of missing trees, plot yields were not maintained, though the principle of thinning had proved its merits. This results was confirmed at a research station (Lachenaud, 1991) and on farms (Anon., 1989), with a thinning rate of 0.50, and was used as the basis for regeneration techniques for old cocoa plantings.

These various facts suggested that one of the reasons for low yields in adult plots could be over-high densities, exacerbating the competition between trees. The almost systematic observation that border trees were more productive than the rest of the plot seemed to confirm this. This performance pattern is conventional, since the yield of almost all bushy plants is known to reach a peak and then fall if the planting is not thinned at the appropriate time (Claude, 1978). Nevertheless, in cocoa growing, density trials generally show that the best yields are linked to the highest densities (Armstrong, 1976; Mooleedhar and Laukner, 1990). These results can be attributed to the fact that the studies were too short, often less than 10 years, hence of little use to growers. Nobody will deny that in the first few years of a cocoa planting, higher densities perform better than low densities (Wood and Lass, 1985); but what happens next, after ten years or so (Armstrong, 1976)?

The results obtained in Côte d'Ivoire are being confirmed in French Guiana, with comparable hybrid material but under markedly different conditions. A comparative trial of hybrids marketed in Côte d'Ivoire, at the Cirad<sup>(1)</sup> Paracou-Combi station, was monitored for ten years. The hypothesis put forward to explain the generally low yields was that of over-high density

(Lachenaud *et al.*, 1994). Under the gradual reconversion of the plot, two rows in every four were thinned and individual harvesting continued on the remaining trees for two seasons. The effect of thinning on the following was studied: yields, potential yields, vegetative vigour, yield:vigour ratio, losses due to rot and pod size.

## Planting material

Nine hybrids selected in Côte d'Ivoire were compared with three local controls (table 1). The hybrid parent clones were first (T 79/416) or second-generation (UPA) upper Amazon Forasteros, locally selected (IFC) Amelonado lower Amazon Forasteros and Trinitarios from Costa Rica (UF) or Ghana (E1). The controls were open-pollinated second-generation progenies of material formerly grown in northern (Iracoubo) and central (Saül) French Guiana and taken from the Paracou-Combi collection (Lachenaud *et al.*, 1994).

## Methods

The 12 families were planted in January 1984, with 50 trees per family, at a density of 1 666 trees per hectare, in a randomized single-tree plot design (Lotodé and Lachenaud, 1988). The comparative study was completed in December 1993, when two in every four rows were thinned, leading to a final density of 833 and (3 m + 9 m) x 2 m spacing. Individual harvesting was resumed in November 1994 and completed in December 1996, after two complete seasons and substantial pruning during the second season. Observations concerned harvests (healthy and rotten pods and pod weight) and trunk girth 50 cm from the ground.

The statistical methods used were those described previously (Lachenaud *et al.*, 1994): analysis of variance using the Hartley test to check the homogeneity of within-family variance (the number of individuals for each family being variable) and transformation of variables (square root, logarithm or arc sine  $\sqrt{x}$ ) to standardize the data. As the coefficients of variation were often high, an analysis of covariance (as per Papadakis), with the mean deviation of the eight nearest neighbours to the family mean as the covariable, was systematically carried out (Lotodé and Lachenaud, 1988): if a significant variable-covariable link was detected, the means were

adjusted. The family means were compared using Newman and Keuls' test at 5%.

## Unprocessed and compared results

### Yields

The analysis of family yields in the first season after thinning (1995) and the potential cumulated figure (including rotten pods) for 1995-1996 (table 2) revealed a very highly significant family effect in both cases, with yields ranging from 310 to 3 286 kg of dry cocoa per ha in 1995 and an annual mean potential (calculated over two years) of 233 to 2 972 kg.

A comparison with the results obtained before thinning (table 3) showed that actual plot yields, after thinning, were generally multiplied by 1.35 when considering 1995 and the last year at the conventional density (1993). When comparing the mean potential yields for the two seasons after thinning with those for the previous seven years, the multiplication coefficient was 1.65. In both cases, mean productivity per tree was therefore multiplied by 2.7 and 3.3.

The family classification was only slightly modified, but the extent of the reaction to thinning varied: the family multiplication coefficient for potential yields ranged from 0.56 (family 9) to 2.12 (family 4, i.e. productivity per tree multiplied by 4.24!), with a majority of families between 1.5 and 2 (families 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12). This variability of performance would not seem to be linked to previous productivity: the plot multiplication coefficients of the leading families for previous productivity (families 1, 2 and 8) were 1.17, 1.89 and 1.76, whilst those for the poorest families (families 3, 6, 9, 11 and 12) were 1.52, 1.99, 0.56, 1.64 and 1.89.

### Mean pod weight

For the two seasons as a whole, the family effect was very highly significant, with family means ranging from 0.32 to 0.46 kg (table 2).

Mean pod weight decreased by 50 g overall after thinning, with extreme values ranging from - 160 g (family 11) to + 20 g (family 4). It would therefore appear that the overall increase in productivity per tree was combined with a reduction in pod size. However, the case of family 4 showed that productivity per tree could be multiplied by 4.24 and combined with an increase in pod size. The classifications before

<sup>(1)</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

and after thinning remained coherent for this criterion.

#### Losses due to rot

For the two seasons as a whole, the family effect was significant (probability = 3.3%), with rotten pod rates of between 0.02 and 0.12 (table 2).

Rotten pod rates - 6% on average - increased by 1% overall after thinning. The Guianan controls confirmed their good performance. The lack of a control at the initial density prevented us from determining whether the observed increase was due to the design or to climatic conditions and whether, as shown in Côte d'Ivoire, planting in hedges did not reduce losses due to rot (Lachenaud, 1987).

#### Vegetative vigour

The family means for trunk girth (in cm) 50 cm from the ground at 12\_ years are shown in table 4. The family effect was very highly significant. A comparison with the results before thinning (table 3) gave results that tallied with those for yields (the performance of families 1, 2, 8 and 9 was particularly revealing in this respect), as was to be expected from the very high value of the family coefficient of correlation between potential yields and vigour (table 5). The families that benefited from thinning in terms of their vegetative development, due to reduced competition, produced higher yields.

#### Yield:vigour ratio

This variable, which is of prime importance in breeding, is defined in this case as the ratio of cumulated potential yields for the two seasons (in kg of pods) to trunk cross-section (in cm<sup>2</sup>) 50 cm from the ground at 121/2 years. An analysis of variance revealed a very highly significant family effect, with values multiplied as much as fivefold (0.07 to 0.35, table 4).

#### Correlations between yield and vigour variables

The matrix of total correlations between the yield and vigour variables defined previously, drawn up from individual and family values, is shown in table 5. All the coefficient of correlation values were highly significant and particularly high, confirming (and indeed accentuating) previous results. The range of family values for the yield:vigour ratio was greater after thinning (maximum value: minimum value ratio of 5 compared to 3.75), although the coefficients of variation were similar (89% beforehand and 85% afterwards). Thinning therefore seemed to ensure better expression of the yield:vigour ratio.

#### Discussion

The yield results confirmed those obtained at Divo in Côte d'Ivoire after thinning one in every two or two in every four rows, with various hybrid families. With extended material planted at an initial density of 2 500 trees per hectare, thinning two in every four rows led to a 36% increase in yields compared to the control (plot A 4/3, Lachenaud, 1991). With experimental material, both types of thinning resulted in plot yields equivalent to 93% of those for the control for the UPA 409 x IFC 371 hybrid and 97% of those for the control for IFC 705 x IFC 5 (over three seasons) (Lachenaud, 1991).

On smallholdings, in trials using strip thinning to regenerate old cocoa plantings, an increase in the yields of old cocoa trees (often over 30 years old) was observed in the vast majority of cases, sometimes from the very first season after thinning (Anon., 1989). However, in this case, the increase cannot entirely be put down to thinning alone, since upkeep and insecticide treatments were probably also more efficient.

Thinning therefore increased yields in plots planted with a mixture of hybrid families. The cocoa trees reacted very rapidly to thinning and from the first crop after thinning (not recorded), the increase in productivity was clearly visible. Although productivity per tree seemed to be consistently improved by thinning, the agronomic and economic merits of the operation depended on the hybrid families used.

#### Conclusions

Under French Guianan conditions, felling two in four rows in a somewhat unproductive ten-year-old cocoa planting substantially increased actual and potential yields. This showed that the generally disappointing results obtained with Côte d'Ivoire hybrids in French Guiana could largely be due to inappropriate planting densities (Lachenaud *et al.*, 1994).

Hybrid family performance after thinning varied: the potential yield was 0.56 to 2.12 times previous yields. The agronomic merits of thinning therefore depend on the planting material used, in line with the results obtained by Mooleedhar and Laukner (1990). Our results showed that the range of family values for the yield:vigour ratio increased; the reduction in density due to thinning may therefore enable more effective expression of this character, which is essential in breeding.

For practical reasons (the gradual reconversion of the plot), the type of thinning used in the study was not that which ensures optimum tree distribution and use of space. We can more or less assume that thinning every

other tree in quincunx would give even better results. In Côte d'Ivoire, thinning in the same way, at the same rate of 0.50, gave similar results, whilst balanced thinning at a rate of 0.75 (every other row and every other tree) increased tree yields fivefold.

These various facts prompt several conclusions:

- although in agronomic terms, thinning generally increases yields, it is important to study the most favourable methods (families, tree age, type and degree of thinning) and their cost-effectiveness depending on grower options (hence generally in the long term), in changing density trials. This concept of changing the density in line with tree age by thinning would provide a new approach to the general problem of regenerating cocoa plantings, which we feel has become so crucial because of poor crop practices. In fact, although they are justified in the first few years, the densities practised in cocoa growing bear no relation to possible cocoa tree development, since contrary to what is too often written, cocoa trees are far from small and often reach heights of 20 m in the wild (Carletto, 1973; Lachenaud and Sallée, 1993; Lachenaud *et al.*, 1997) or even in very old plantings (Dash, 1929). With age, the first sign of inappropriate density is the drop in yields, often inexplicably early. Subsequently, as competition worsens, the heterogeneity of tree development increases, as does mortality, and the cocoa planting becomes a forest of unproductive cocoa trees. Adapting densities to the age of a plot would significantly increase its life span and maintain its production potential;
- spacing cocoa trees further apart substantially increases their productivity (up to a family mean factor of 4.24 in this study), confirming that pollination is not a problem in cocoa growing and is not a limiting factor. If this were so, irrespective of whether pollination were general or just crossed, yields would decrease after thinning;
- the thinning technique means that cocoa plantings can be reconverted, provided they have not deteriorated too far, without a substantial drop in income, by adapting the thinning rate to the grower's resources;
- planting density is a prime yield factor that has been insufficiently taken into account in cocoa genetic improvement, confirming Lockwood and Pang's conclusions (1996). ■